

Atomic and Nuclear Physics

Final Exam, Spring 2022

Rewrite, with answers, and reference to the book

김정빈

August 27, 2024

객관식, 1~20

1. X선 발생장치에 대해 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 51pg 93번

- 가. (x) 관전류를 3배 증가시키면 x선 강도가 대략 9배 증가한다 - 관전류 k배 증가시 강도는 대략 k배 증가.
나. (o) 관전압을 3배 증가시키면 강도는 9배, 에너지는 3배 증가한다.
다. (x) x선회절분석기(XRD)는 단색 특성 X선을 이용하고, 제동복사선을 억제하기 위해 두껍고 원자번호가 높은 표적을 사용한다. - 제동복사선을 억제하기 위해 얇고 원자번호가 낮은 표적 사용.
라. (o) X선관의 필터는 투과력이 약한 연질X선을 흡수하므로, X선의 에너지스펙트럼은 중간 에너지 부분이 불룩한 모양을 가진다.

2. 내부전환과 오제효과에 대한 설명으로 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 94번

- 가. (o) 내부전환에 따라 특성X선 또는 오제전자가 방출된다.
나. (o) 내부전환전자와 오제전자는 모두 전스펙트럼을 가진다.
다. (o) 내부전환전자의 에너지는 오제전자의 에너지보다 높다.
- γ 붕괴에 의해 γ 선이 발생하거나, 내부전환전자가 발생한다. 내부전환전자가 발생하면 안쪽 전자의 공백을 채우기 위해 궤도전자가 천이하는데, 이때 특성X선이나 오제전자가 발생한다. 당연히 γ 선이 X선보다 에너지가 높기에, 감마선에 의해 발생한 내부전환전자가
라. (o) 내부전환은 γ 선, 오제효과는 특성X선에 의해 발생한다.

3. 다음은 전자기파방사선에 대한 설명이다. 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 98번

- 가. (o) 전자기파방사선의 파장은 운동량에 반비례한다.
나. (o) 전자기파방사선은 광양자 또는 광자라고 한다.
다. (o) 전자기파방사선의 파장과 진동수의 곱은 일정한 값을 가진다.
라. (o) 양자론에 의하면 전자기파는 파동성과 입자성을 가지고 있다.

4. 다음은 특성X선에 대한 설명이다. 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 99번

- 가. (o) 일반적으로 형광수율은 원자번호가 높을수록 커진다. - Ge, $Z=32$ 보다 원자번호가 높은 원자에서 오제전자 발생보다 특성 X선이 더 많이 발생한다. 이때 특성 X선을 방출하는 분율을 형광수율이라고 한다.
나. (o) 원자번호가 낮은 물질일수록 오제전자의 방출이 많아진다.
다. (o) 특성X선은 오제전자와 경합적으로 방출되는데, 이때 특성X선을 방출하는 분율을 형광수율이라고 한다.
라. (o) 특성X선은 전스펙트럼 분포를 가지며, 발생하는 에너지(진동수)는 원자번호의 제곱에 근사적으로 비례한다.
- 모즐리법칙 ($\nu \propto Z^2$)

5. 광자와 물질과의 상호작용 중 하나인 전자쌍생성에 대한 설명 중 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 100번

- 가. (o) 전하보존에 따라 생성된 두 입자는 질량이 같고 서로 반대 부호의 전하를 가진다.
나. (x) 전자쌍생성이 일어나기 위해서는 광자의 에너지는 최소 ~~0.511 MeV~~ 1.022 MeV 가 되어야 한다. - 1.022 MeV
다. (o) 전자쌍생성은 과정의 문턱에너지 이상의 에너지를 가진 광자에 대해서만 일어나는 과정이다.
라. (x) 입사광자가 핵의 근방에서 원자핵의 강한 핵력 영향으로 소멸되고 전자-양전자 쌍이 생성되는 과정이다. - 쿨롱장에 의한 소멸

6. 전자와 물질과의 상호작용에 대한 설명으로 올바른 것을 모두 고르시오. 다자바 104번

- 가. (o) 전자의 저지능은 충돌에 의한 저지능과 복사에 의한 저지능의 합으로 나타낸다.
나. (o) 상대론적 작용의 영향을 받지 않는 전자의 총에너지는 정지에너지와 운동에너지의 합으로 나타낼 수 있다.
다. (o) 전자의 물질 내 거동은 고에너지에서는 전방산란이 우세하지만 저에너지에서는 무질서한 브라운운동을 한다.
라. (o) 전자의 비적은 직선을 형성하는 것이 아니라 지그재그의 형태를 취하므로 중하전입자와 달리 비정이 분명하지 않다. - 베타입자의 경우 질량이 적어 비정이 직선이 되기 힘들다. 알파의 경우는 직선.

7. 다음 설명 중 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 108번

- 가. (o, ?) 평균이온화에너지는 전리포텐셜의 약 2배 이다.
 나. (o) 평균이온화에너지는 방사선의 종류의 영향을 받는다.
 다. (o) 중하전입자는 전자보다 질량이 커서 진로는 교란되지 않고 직진하며, 에너지만 조금씩 잃어간다.
 라. (x) 10 MeV 이하의 광자에너지에서는 납에서의 질량에너지전달계수와 질량에너지 흡수계수가 크게 차이난다
 - 10MeV 이하의 광자는 물에서는 질량에너지전달계수와 질량에너지흡수계수는 크게 차이가 나지 않지만 납에서는 제동복사 때문에 현저한 차이를 나타낸다.

8. X선과의 전압(kV)과 최단파장(Å)과의 관계를 설명한 것으로 올바른 것을 모두 고르시오. 다자바 112번

- 가. (x) Moseley 법칙과 관계있다. - 모즐리 법칙은 특성X선의 진동수가 원자번호의 제곱에 비례한다. $\nu_{\text{특성X선}} \propto Z^2$
 나. (x) 전압과 최단파장은 관계가 없다. - 전압 K배 $\rightarrow$ 에너지 K배, 강도 k^2 배.
 다. (o) 전압과 최단파장은 반비례관계에 있다.
 라. (o) 전압(kV)과 최단파장(Å)의 곱은 12.4로 일정하다.

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = eV = 1.6 \times 10^{-19} V[J] \rightarrow \lambda_{\min} = \frac{1.24 \times 10^{-6}}{V} [m]$$

9. 다음 설명 중 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 158번

- 가. (x) 고전산란에서는 방향 변화 없이 에너지만 변환다. - 고전산란은 타겟의 여기나 전리 없이 방향만 변하게 됨.
 나. (x) 광전효과에서는 γ 선의 에너지를 일부만 잃게 된다 - (대부분 k각) 전자의 이온화에너지를 뺀 만큼의 에너지를 운동에너지로 가지고 나간다.
 다. (x) 전자쌍생성에서는 γ 선의 에너지를 일부만 잃게 된다. - 감마선이 쿨롱장과 작용하여 소멸, 남은 에너지는 양전자와 음전자가 불균등하게 운동에너지로 나뉘어짐
 라. (x) Compton 효과에서는 감마선의 에너지를 모두 잃게 된다. - 산란감마선은 일부 에너지를 잃는다.

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma(1 - \cos\theta)}{m_0 c^2}}$$

10. 광자의 Compton 효과에 대해 올바른 것을 모두 고르시오.

- 가. (o) 광자와 자유전자와의 충돌에 의하여 주로 발생한다.
 나. (x) 산란선의 에너지와 반도전자의 에너지는 상관없다. - 에너지를 나뉘어짐. 산란각(θ)에 의존.

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma(1 - \cos\theta)}{m_0 c^2}}, \quad E_C = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0 c^2}{E_\gamma(1 - \cos\theta)}}. \quad E_\gamma = E'_\gamma + E_C$$

 다. (x) 산란선의 파장은 산란각이 90°일때 가장 많이 변화한다. - 후방산란시 가장 많은 에너지변화량(파장)이 일어난다.
 라. (x) Compton 효과는 에너지가 증가할수록 발생 확률이 증가한다.
 - 에너지의존성: E_γ^{-1} . 광전효과($E_\gamma^{-3.5}$)의 경우와 비교했을때는 에너지가 증가할수록 Compton 효과가 발생하는 현상이 나타나긴 하나, 위 문제 맥락에서는 다름.

11. 다음중 α 선의 저지능에 대한 설명으로 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 169번

- 가. (x) 저지능의 단위는 keV/cm^2 이다.
 - 저지능은, 하전입자가 물질 속을 진행할 때 단위길이당 잃는 에너지를 말함, 단위: $keV/\mu m$.
 나. (x) 저지능은 원자번호에 반비례한다.
 - Bether, Bloch(길라잡이 54pg) - 저지능 $S \propto \frac{q^2}{v^2} Z n$
 다. (x) 저지능은 α 선의 에너지에 비례한다.
 - 알파선의 에너지가 클수록 속도가 빠르고, 그에따라 쿨롱상호작용이 적게 일어난다.
 라. (x) 저지능에 질량을 고려한 양이 질량저지능이다.
 - 밀도의 종속성을 배제하기 위해서 저지능을 밀도로 나눈 것을 질량저지능이라고 한다. 단위는 $[J \cdot m^2/kg]$ - 문제 170번 보기 1번 참고

12. β 선에 대한 설명으로 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 180번

- 가. (o) 산란체의 두께가 같으면 원자번호가 높을수록 후방산란계수가 크다.
 - 물질 원자번호 Z는 대략 밀도 및 전자밀도와 비례하므로, Z가 클수록 상호작용 밀도가 늘어나므로 후방산란될 기회가 증가. 즉 Z와 후방산란율은 비례적 관계.
 나. (o) 산란체가 없을 경우와 있을 경우의 계수율비를 후방산란계수라 한다.
 다. (x) 후방산란계수는 1보다 작은 값을 가진다.
 - 위 식을 보면 1보다 클 수밖에 없다.
 라. (o) 후방산란은 산란체의 두께가 두꺼울수록 커지지만 어느 두께이상에서는 일정해진다.

$$\text{후방산란계수, BSF - Back Scatter Factor} = \frac{\text{어떤 한 물질에서의 후방산란 베타선이 max가 될때 베타선의 계수}}{\text{산란체가 없을 때의 후방산란 베타선 계수}}$$

+ 여기서 말하는 산란은 쿨롱장에 의한 산란(비탄성). 에너지가 작을수록 후방산란이 잘 일어난다.

13. 다음 중 옳은 것을 모두 고르시오.

가. (o) 체렌코프방사선은 연속스펙트럼이다.

- 전기를 띤 입자방사선이 광학적으로 투명한 물질 내에서 빛의 속도보다 빠르게 운동할 때 이 입자들의 진행방향 반대로 원뿔모양의 푸른 빛이 방사하는 현상을 Cerenkov 복사라고 한다. 베타붕괴에 의해 방출되는 베타선에 의해 약 0.1% 정도 발생되는데 이는 충돌손실에 비해 매우 적은 양이며 연속스펙트럼분포를 가진다.

나. (o, ?) 체렌코프방사선은 속도가 느린 경우 눈으로 관찰할 수 있다.

다. (o) 체렌코프효과는 충돌 에너지 손실에 비교하면 매우 작은 양이다.

라. (o) 입자방사선은 굴절률 n 인 어떤 물질에서 광속보다 빠르게 움직일 수 있다.

14. 다음 저지능에 대한 설명 중 올바른 것을 모두 고르시오. - 다자바 169번

가. (o) 하전입자의 속도에 반비례한다.

나. (o) 물질의 원자번호에 비례한다.

다. (o) 하전입자가 단위길이당 잃는 에너지이다.

라. (x) 하전입자가 가진 전하의 제곱에 반비례한다. - 비례함

Stopping power defined by Bethe-Bloch formula is:

$$\text{Bethe-Bloch Formula : } S \propto \frac{q^2}{v^2} Z n$$

Where q is the charge of the radiation particle, v being the velocity of the particle, Z being atomic number, and n being an atomic density(단위체적당 원자수, $N = \frac{\rho N_A}{M_A}$)

15. 다음 Bragg 곡선에 대한 설명 중 옳은 것을 모두 고르시오. - 다자바 172번에서 보기 추출

가. (x) 비정과 비전리는 비례관계에 있다.

- 하전입자가 에너지를 모두 잃을 때 까지 진행한 거리를 비정이라고 함. 비전리란 하전입자가 단위길이 당 생성하는 이온쌍수를 말함.

나. (x) 비정은 비전리와 W 치의 곱이다.

- W 치는 저지능을 비전리로 나눈 값이다: 저지능은 비전리와 W 치의 곱이다. 비정은 입자입자의 에너지를 비전리로 나눈 값으로 나타낼 수 있다. $R = \frac{E_\alpha}{\text{LET 혹은 저지능}}$

다. (x) α 선은 정지하기 직전에 비전리가 최소가 된다.

- 정지하기 직전에 비전리가 최대가 됨. Braggs Peak.

라. (o) 비전리가 크다는 말은 에너지손실이 크다는 말이다.

16. 다음 α 선에 대한 설명 중 옳은 것을 모두 고르시오.

가. (o) 알파선은 비전리가 작기 때문에 위험하다.

나. (x) 체외피폭시 가장 문제시되는 방사선이다.

- 비정이 매우 짧음으로 체외피폭시 별 문제 없으나, 체내피폭시 매우 위험.

다. (o) 외부피폭에 대한 알파선의 차폐는 고려할 필요가 거의 없다.

라. (x) 알파선이 에너지를 손실하는 과정은 거의 대부분이 탄성산란이다.

- 하전입자의 에너지 손실은 대부분 궤도전자의 쿨롱장에 의한 여기 및 전리로, 비탄성산란이다.

17. 다음 ^{252}Cf 에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르시오. - 다자바 122번 보기 추출

가. (x) 반감기는 약 12.3년이다.

- Cf-252의 반감기는 2.6년이다. ^3H 의 반감기가 12.3년이다.

나. (x) 순수한 중성자만 방출한다.

- 3.1% 확률로 자발핵분열하며($T_{SF} = 86.6y$), 96.9% 확률로 α 붕괴($T_\alpha = 2.735y$).

다. (x) 중성자 표준선원으로 사용되지 않는다

- Cf-252에서 방출되는 중성자의 평균 에너지는 2.3 MeV 정도로 중성자 표준선원으로 사용되고 있다.

라. (o) 방출되는 중성자의 평균 에너지는 2.3 MeV 정도이다.

18. 다음 핵분열에 대한 설명 중 올바른 것을 고르시오.

가. (x) 핵분열은 인공적으로만 발생된다.

나. (o) ^{235}U 의 경우 저속중성자에 의해 주로 발생한다.

- 이제 출처마다 에너지 분포를 다르게 해서 그런데, 보통 저속중성자라 하면 0.5 eV 이하라고 함.

다. (o) 핵분열이 일어나면 2~3개의 고속중성자가 발생한다.

라. (x) 생성되는 핵분열조각은 질량수가 118정도에서 가장 많다.

- 질량수율곡선 (Fission Yield)의 Double-Humped Curve 에서, 118 부근에서 최소질량수율을 보여준다. 최대질량수율은 95 및 140이다. 또한 중성자의 에너지가 높을수록, 두 개의 피크 사이 골짜기가 얕아지는 현상이 발생한다.

19. 다음 중성자에 대한 설명 중 올바른 것을 모두 고르시오.

가. (o) 반감기는 보통 11분 정도이다.

- 중성자의 반감기는 대략 10.3분 이다. 평균수명은 14분이다.

나. (o) 중성자는 소립자의 하나이다.

- 길라잡이 44pg: 방사선이란 파나 입자가 공간을 진행하는 상태에 있는 것을 말하며, 원자나 원자핵이 불안정할 때 방출되는 에너지의 흐름으로 넓은 의미에서 보면 원자이해의 소립자를 총칭한다. 소립자에는 광자족, 경입자족, 중간자족, 중입자족, 중이온 등으로 나눌 수 있다.

- 광자족: X선, γ 선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파 등과 같은 전자기파
- 경입자족: 전자, 양전자, 중성미자, 반중성미자, π 중간자의 붕괴산물인 뮤온 등
- 중간자족: π 중간자, K중간자 등
- 중입자족: 양성자, 중성자, 중양자, 삼중양자, α 선 등
- 중이온: 에너지를 얻은 원자가 운동에너지를 얻을 경우로서, 핵분열편이 여기 속한다.

다. (o) 단독으로 존재할 경우 β^- 붕괴하여 양성자로 변환한다. - Free neutron decay

라. (x) 전하를 갖고 있기 때문에 직접전리방사선으로 분류한다.

- 파나 입자가 직접 또는 간접적으로 공기를 전리시킬 수 있는 능력(에너지)을 가진 것을 의미한다. 이것을 전리방사선이라고 하며, 일반적으로 방사선이라고 함은 이 전리방사선을 지칭한다.

- 직접전리방사선(하전방사선): 알파, 베타, 양성자, 중이온 등

- 간접전리방사선(비하전방사선): X, 감마, 중성자

20. 다음 소멸복사(Annihilation)에 대한 설명 중 옳은 것을 모두 고르시오.

가. (x) 특성X선과 관계있다.

- β 선원 중에서는 C-11, N-13, O-15, F-18, P-30 등과 같이 양전자를 방출하는 것도 있다. 양전자가 비탄성산란, 제동복사 등으로 그 에너지를 잃고난 후 부근의 전자와 결합하여 소멸하면서 전자 2개의 정지에너지에 해당하는 1.022MeV의 소멸광자를 방출한다. 이러한 현상을 소멸복사 또는 β^+ 선 소멸이라고 한다.

나. (x) 두개의 양전자끼리 충돌할 때 발생한다.

다. (x) 두개의 전자가 한 방향으로 분리될 때 발생한다.

라. (x) 두개의 양전자가 결합하여 소멸될 때 발생한다.

주관식, 21~40

21. ^{235}U 의 열중성자에 의한 핵분열을 설명하라.

$^{235}\text{U} + n \rightarrow 2\text{ }^3_1\text{H} + \text{fission products} + \beta + \gamma + \bar{\nu}$ U-235는 열중성자와 반응하여 U-236을 만들고, 이 U-236이 자발핵분열하여 중성자 2-3개, 핵분열편, 베타선, 감마선, 그리고 반중성미자가 방출된다.

22. 방사선과 방사능을 정의하고 방사능이 크다는 것의 의미를 기술하라. - 다자바 주관식 1번

- 방사선: 파나 입자가 공간(진공 포함)을 진행하는 상태에 있는 것을 말하며, 공기를 직접 또는 간접적으로 전리시키는 능력(에너지)을 가진 것(전리방사선)을 의미한다.
- 방사능: 방사성 붕괴를 일으키는 성질(능력)을 의미하며, 방사성핵종의 단위시간당 붕괴수(Disintegration per second)로 정의한다.
- 방사능이 크다는 것은, 단위시간당 붕괴하는 방사성 원자의 수가 많다는 것을 의미하거나, 방사성물질의 양이 많다는 것을 의미한다.

23. 반감기를 구하는 식 $T = \frac{0.693}{\lambda}$ 을 유도하고, 평균수명과의 관계를 수식으로 써라. - 다자바 주관식 2번

반감기: 최초의 방사능이 반으로 줄어드는 시간. 방사능의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} A(t) &= A_0 e^{-\lambda t} \\ A(T_{1/2}) &= A_0 \times 1/2 \\ 1/2 \times A_0 &= A_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \rightarrow e^{-\lambda T_{1/2}} = 1/2 \\ \lambda T_{1/2} &= \ln 2 \rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \end{aligned}$$

평균수명과의 관계:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1.44 \times T_{1/2}$$

24. 방사성핵종 A가 붕괴상수 λ 로 붕괴하여 안정핵종 B로 될 때, 시간 t에서의 A 원자수에 대한 시간 0에서 t까지의 사이에 생긴 B 원자수의 수는? - 다자바 주관식 4번
 시간 t에서 남아있는 핵종의 갯수는:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

즉 붕괴를 거친 안정핵종 B의 갯수는: $N_0 - N_0 e^{-\lambda t}$

그러므로 시간 t에서의 A 원자수와 B 원자수의 비는

$$\frac{N_0 - N(t)}{N(t)} = \frac{N_0 - N_0 e^{-\lambda t}}{N_0 e^{-\lambda t}} = e^{\lambda t} - 1$$

35. 평균수명 유도: 시간 t와 t+dt에 붕괴한 방사성물질의 수가 dN이라고 할 때 평균수명을 구하는 식을 유도하여라 - 다자바 주관식 3번

N개의 붕괴되지 않은 원자핵이 존재할 때, dt시간동안 붕괴되는 수 dN은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \\ \rightarrow dN(t) = -\lambda N(t) dt$$

문제에 따르면 t와 t+dt 사이 붕괴한 방사성물질의 수가 dN 이라고 하였으므로, 이 붕괴한 물질들의 수명은 t 이다. 모든 방사성물질에 대해서 수명 t를 더한 값을 N_0 로 나누면 평균 수명이 된다. 적분구간에 유의하자. 첫번째 적분은 구간이 dN(t) 기준이므로, 적분구간은 $N(t) = 0 \sim N(t) = N_0$ 이다. 이 적분구간을 치환하면 $t = \infty \sim t = 0$ 이다.

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_{N(t)=0}^{N_0} t dN$$

integration by substitution: $dN(t) = -\lambda N(t) dt$

$$= \frac{1}{N_0} \int_{t=\infty}^0 -\lambda t N(t) dt = \frac{1}{N_0} \int_{t=\infty}^0 -\lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt = \int_{t=\infty}^0 -\lambda t e^{-\lambda t} dt$$

$$= \left[t e^{-\lambda t} \right]_{t=\infty}^0 - \int_{t=\infty}^0 e^{-\lambda t} dt = 0 - \left[-\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_{t=\infty}^0 = \frac{1}{\lambda}$$

25. 붕괴도식에서 나타내야 하는 사항을 써라.

핵종, 반감기, 붕괴 종류, 방사선붕괴 방출방사선, 방사선의 방출순서, 방사선의 에너지 및 방출강도, 각 붕괴의 확률

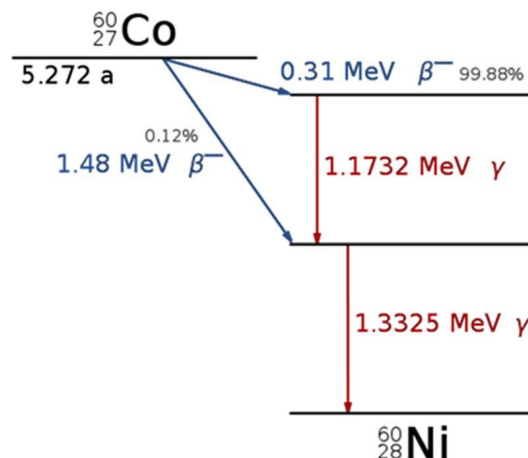


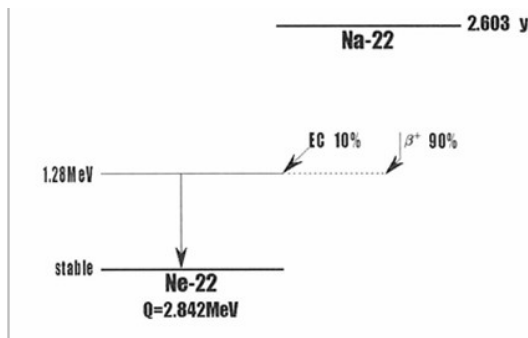
Figure 1: Co-60 Decay Scheme

26. 다음은 ^{137}Cs 에 관한 설명이다. () 안에 적당한 말을 써라. - 다자바 주관식 6번

- ^{137}Cs 은 (γ) 선원으로 알려져 있지만, 사실은 그 딸핵종 (^{137m}Ba)이 붕괴할 때 방출하는 (γ) 선을 이용하는

것이다. ^{137}Cs 과 ^{137m}Cs 은 (영속방사평형) 관계가 성립한다. ^{137}Cs 의 반감기는 (30년) 이며, 100붕괴당 (85개) 의 γ 선을 방출하며, 일부는 (내부전환) 을 일으킨다.

27. 다음의 붕괴도를 보고 단위시간[s] 당 100 붕괴했을 때 원자와 핵 및 후발적으로 방출될 수 있는 방사선을 모두 써라. ^{22}Na 의 K궤도의 결합에너지는 0.87keV 이다. - 다자바 주관식 7번



100 dps 이므로, EC 10 dps, beta+ 90 dps, gamma 100 dps 가 발생할 것으로 예상된다. 각 방사선에 대해서 더 설명하자면:

- γ ($E = 1.28\text{MeV}$) dps
- 10 EC/s 로 발생한:
 - 10개의 K-특성X선 ($E = 0.87\text{keV}$)
 - 10개/s의 중성미자(ν)
- 90 베타+/s 로 발생한
 - 베타+선($E = 2.842 - 1.28 - 1.022 = 0.54\text{ MeV}$)
 - 180개/s의 소멸광자 (베타+선이 에너지 잃고 소멸복사)

Figure 2: Na-22 Decay Scheme

28. β^+ 붕괴와 전자포획(EC)의 공통점과 차이점을 기술하라. - 다자바 주관식 8번

- 공통점:
 - 원자번호 수 변화가 같다 (핵자 변화 수가 같다.)
 - 중성미자를 방출한다.
 - 양성자 과잉 핵종에서 발생한다.
- 차이점:
 - 베타붕괴는 중성미자와 베타+가 붕괴에너지를 나누어 가짐으로, 둘다 연속스펙트럼을 가지며, 이 베타+선은 에너지를 모두 잃고 난 이후 전자쌍소멸(소멸복사)을 일으켜 0.511MeV의 광자 2개를 방출한다.
 - EC의 중성미자는 선스펙트럼을 가진다. 또한
 - 붕괴에너지(Q)가 1.022MeV 이하에서는 EC만이 가능하며, 이상일때는 베타+ 붕괴와 EC가 경쟁적으로 발생한다.

29. 핵이성체전이를 설명하라 - 다자바 주관식 9번

Isometric Transition, 핵이성체전이는 γ 전이의 일종이며, 여기된 상태에서 낮은 상태로 떨어질 때 까지 지연(10^{-8} to 수년)된 γ 전이가 일어나는 경우를 말한다.

30. 다음의 () 안에 적당한 말을 써라.

(전자포획(EC)이란), 양성자가 궤도전자를 포획하여 중성자로 변하고 전자파를 방출하는 것을 말한다. 원자핵 속에 양성자가 과잉인 핵종의 경우에 일어나며, 이때 이 반응에 수반하여 발생하는 (특성X선) 이 방사를 수반하지 않고 궤도전자를 방출할 수 있는데 이것을 (오제전자)라 한다.

31. 전자선과 납과 상호작용할 경우 방사손실과 충돌손실의 발생비율이 같아지기 위해서는 전자선의 에너지는 얼마이어야 하는가?

- 전자선에 대한 제동복사 공식

$$Y_e = \frac{6 \times 10^{-4} EZ}{1 + 6 \times 10^{-4} EZ}$$

이때 Y_e 의 값이 0.5 가 되어야 한다. 납의 원자번호는 82번이므로

$$\frac{6 \times 10^{-4} \times 82 \times E}{1 + 6 \times 10^{-4} \times 82 \times E} = 0.5$$

$$E = 20.325\text{ MeV}$$

32. 3.4 MeV의 α 선이 공기 중에서 정지할 때까지 생성시킨 이온쌍의 수를 구하라. 공기의 W값은 34eV이다.

공기의 W 값이 의미하는 바가, 공기에서 이온쌍수를 생성하는데 필요한 에너지 이다. 즉

$$ip = \frac{3.4\text{ MeV}}{34\text{ eV/ip}} = 10^5\text{ ip}$$

- cf). 알파선의 비정:

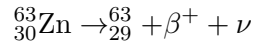
$$R_{\text{air}} = 0.318E^{1.5} [cm] \quad (4MeV < E < 8MeV)$$

$$R_{\text{air}} = 0.56E [cm] \quad (E < 4MeV)$$

그러므로 3.4MeV의 알파선의 비정은

$$R_{\text{air}} = 0.56E [cm] = 1.904 \text{ cm}$$

33. $^{63}_{30}\text{Zn}$ 과 $^{63}_{29}\text{Cu}$ 사이에서 β^+ 붕괴가 발생가능한지 확인하고, 발생한다면 Q_{β^+} 값을 구하라.
63-Zn가 베타+붕괴하여 63-Cu가 되는 반응식은 다음과 같다.



β^+ 붕괴가 가능하려면, 반응 Q값이 1.022MeV 이상이어야 한다. Q 값을 구하면:

$$Q_{\beta^+} = 62.9330u - 62.9298u - 0.00054u = 0.00266u$$

$$= 0.00266u \times \frac{931.5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 2.47779 \text{ MeV}$$

반응 Q값이 1.022MeV 이상이므로, 베타+ 붕괴가 가능하다. 이때 베타+ 붕괴와 EC가 경쟁적으로 발생한다.

34. 3700GBq의 ^{131}I 이 185GBq로 감소하는데 걸리는 시간은? ^{131}I 의 반감기는 8일로 한다.
초기 방사능이 A_0 일때, 시간 t 가 지난 이후의 방사능 $A(t)$ 의 수치는 다음과 같이 정의된다.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

위 식에 대입시

$$185GBq = 3700GBq \times e^{-\frac{0.693}{8 \text{ d}} t}$$

$$\frac{185 \text{ GBq}}{3700 \text{ GBq}} = e^{-\frac{0.693}{8 \text{ d}} t}$$

$$t = \ln\left(\frac{3700}{185}\right) \times \frac{8 \text{ d}}{0.693}$$

$$t = 34.58 \text{ day}$$

35. 평균수명이 20초인 방사성동위원소 1kg이 있다. 2분 후 남아있는 양은?
평균수명 τ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 20 \text{ s}$$

$$\therefore \lambda = 0.05 \text{ s}^{-1}$$

초기 방사성물질의 양이 N_0 이라고 하였을때, 시간 t 가 지난 이후 방사성물질의 양은

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N(2min) = 1kg \times e^{-0.05 \text{ s}^{-1} \times 20min} = 1kg \times e^{-6}$$

$$= 0.00248 \text{ kg} = 2.47 \text{ g}$$

36. 고대 사찰에서 발견된 나무조각 2g의 탄소를 분석하여 이 탄소 1g당 1분 동안 10붕괴하는 방사능이 있음을 알았다. ^{14}C 의 방사능이 1g당 15dpm 의 일정한 방사능을 가지고 있다면, 이 나무는 얼마나 오래된 것인가?
 ^{14}C 의 반감기는 5730년이다. - 다자바 계산문제 18번

시간 t 가 지났을때 방사성물질의 방사능은

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\therefore 10 \text{ dpm} = 15 \text{ dpm} \times e^{-\frac{0.693}{5730y} t}$$

$$\ln\left(\frac{2}{3}\right) = \frac{0.693}{5730y} \times t$$

$$t = 3352.5 \text{ year}$$

37. 반감기가 1시간인 핵종 A와 반감기가 4시간인 핵종 B가 있다. 처음 A의 방사능(A_0)이 B방사능(B_0)의 8배 ($A_0 = 8B_0$) 였다면, 핵종 A와 핵종 B의 방사능이 같아지는 시간(min)은? - 다자바 계산문제 28번
다음 식 사용

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{0.693}{1h} t}$$

$$B(t) = B_0 e^{-\lambda t} = B_0 e^{-\frac{0.693}{4h} t}$$

방사능이 같아지는 시간을 T라고 했을때 다음 식이 성립한다.

$$A(T) = B(T) = 8B_0 e^{-\frac{0.693}{1h} T} = B_0 e^{-\frac{0.693}{4h} T} \quad (\because A_0 = 8B_0)$$

위 식을 풀면

$$8 = e^{\frac{3 \times 0.693T}{4h}}$$

$$T = \ln(8) \times \frac{4h}{3 \times 0.693} = 4 \text{ h} = \underline{\underline{240 \text{ min}}}$$

38. 두 핵종 A(반감기 4h), B(반감기 45min) 가 혼합물 형태로 존재하고 있다. 이들 두 핵종의 딸핵종은 모두 안정핵종이라고 한다. $t=0$ 에서의 전체방사능은 80,000Bq 였고, 3시간 경과후에는 10,000Bq 이 되었다고 한다면 $t=0$ 에서의 핵종 A의 방사능은 얼마인가?
연립방정식 풀이이다. 식을 세워 보면:

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{0.693}{4h} t}$$

$$B(t) = B_0 e^{-\frac{0.693}{0.75h} t}$$

$$A_0 + B_0 = 80,000 \text{ Bq}$$

$$A(3h) + B(3h) = 10,000 \text{ Bq}$$

강 풀어

$$A(3h) + B(3h) = A_0 e^{-\frac{0.693}{4h} \times 3h} + B_0 e^{-\frac{0.693}{0.75h} \times 3h}$$

$$= A_0 \times 0.595 + B_0 \times 0.0625$$

$$\therefore \begin{cases} A_0 + B_0 = 80,000 \text{ Bq} \\ 0.595A_0 + 0.0625B_0 = 10,000 \text{ Bq} \end{cases}$$

$$B_0 = 70610 \text{ Bq}$$

$$\underline{\underline{A_0 = 9390 \text{ Bq}}}$$

39. ^{137}Cs 의 매 붕괴당 방출되는 0.622MeV 의 γ 선 방출수는 몇개인가? ^{137}Cs 은 94.6%가 β^- 붕괴하여 ^{137m}Ba 으로 되어 0.622MeV 의 γ 선을 내며 일부는 내부전환계수 0.114로 내부전환한다.

내부전환계수에 대하여:

어떤 원자핵이 감마 전이할 때는 감마선 방출과 내부전환전자의 방출은 일정한 비율로 일어나는데 그 비율은 내부전환계수(α)로 나타난다.

내부전환계수 α 는 γ 선 방출률(γ)와 내부전환율(i)의 비로 나타내며, 핵종에 따라 고유한 값을 가진다.

$$\alpha = \frac{i}{\gamma}, \quad \gamma + i = 1$$

$$\rightarrow \gamma + \gamma\alpha = 1$$

내부전환계수가 0.114 라고 하였으므로 $\alpha = 0.114$ 이다. 감마선방출율을 x 라고 하면:

$$0.114 = \frac{i}{x} \rightarrow i = 0.114x$$

$$\gamma + i = x + 0.114x = 1.114x = 1$$

$$\gamma = x = 0.897, \quad i = 0.103$$

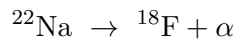
^{137}Cs 가 94.6%로 베타+ 붕괴하여 감마선 하나를 내므로, 매 붕괴당 방출되는 0.622MeV 의 감마선의 개수는

$$0.946 \times 0.897 = 0.849[\text{개}]$$

즉 84.9%로 감마선을 방출한다.

40. ^{22}Na 가 α 붕괴하지 않음을 증명하라. ^{22}Na , ^{18}F , ^4He 의 원자질량은 $21.994437u$, $18.00937u$, $4.00258u$ 이다.

만약 ^{22}Na 가 α 붕괴한다고 가정해보자. 붕괴식을 적어보면:



알파붕괴의 경우, 운동량과 운동에너지가 보존되어야 하므로, Q 값이 0이어야 한다. 위 반응식의 Q 값은:

$$Q = 21.994437u - 18.00937u - 4.00258u = -0.017513u$$

Q 값이 0이 아니므로, 알파붕괴하지 않는다.

cf) Q 값이 유지되는 반응과 유지되지 않는 반응:

- 탄성충돌 / 탄성산란 반응계열은 운동량과 운동에너지가 보존되므로, Q 값이 유지된다.
 - 예시: α 붕괴, β^+ , β^- 붕괴, γ 붕괴, 고전산란(방향만 변경), 광전효과, Compton 효과
- 비탄성충돌 / 비탄성산란은 운동량은 보존되나, 운동에너지가 보존되지 않으므로 Q 값이 변한다.
 - 예시: 전자쌍생성, 자발핵분열(SF), 방사손실(제동복사), 핵반응, α , β 선의 매질에서 운동
 - 제동복사의 경우, 광자(x선)로 인해 운동에너지 보존이 안됨.